



УДК 622.233.65

**МЕХАНИЗМ ДИСКРЕТНОГО ПОВОРОТА ИНСТРУМЕНТА
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПЕРФОРАТОРА**

М. Ураимов¹, В.Э. Еремьянц², С. И. Квитко¹

¹*Институт машиноведения НАН КР*

E-mail: uraimov47@yandex.ru, ул. Скрябина, 23, 720055, г. Бишкек, Кыргызстан

²*Кыргызско-Российский славянский университет,*

E-mail: eremjants@inbox.ru, ул. Киевская, 44, 720000, г. Бишкек, Кыргызстан

Рассмотрены предпосылки к созданию гидравлического перфоратора ударно-поворотного действия. Представлены конструктивные схемы механизма поворота для вращения бурового инструмента и гидравлического перфоратора, в котором ударный узел и механизм поворота бура приводятся в движение одним источником питания. Показана отличительная особенность способа бурения, реализуемого при использовании разработанного перфоратора.

Гидравлический перфоратор, ударно-поворотное бурение, буровой инструмент, рабочий процесс

**MECHANISM OF DISCRETE ROTATION
OF HYDRAULIC PERFORATOR TOOL**

M. Uraimov¹, V. E. Eremyants², S. I. Kvitko¹

¹*Institute of Machine Engineering, National Academy of Sciences, Kyrgyz Republic,*

E-mail: uraimov47@yandex.ru, ul. Scryabina 23, Bishkek, 720055 Kyrgyz Republic

²*Kyrgyz-Russian Slavic University,*

E-mail: eremjants@inbox.ru, ul. Kievskaya 44, Bishkek, 720000 Kyrgyz Republic

The background for engineering a hydraulic rotary-percussive hydroperforator is discussed. The structural layouts of the drilling tool and hydroperforator rotary mechanism are presented. In the rotary mechanism, percussion and rotation assemblies are powered by the same source. The distinctive feature of the drilling method implemented in the developed perforator is shown.

Hydraulic perforator, rotary-percussive drilling, drilling tools, work process

Ручные перфораторы широко применяются в горной промышленности для бурения шпуров при добыче полезных ископаемых, в строительной отрасли — для образования отверстий в бетонных конструкциях, при строительстве и ремонте дорог. По принципу действия эти перфораторы делятся на две группы: ударно-поворотные и ударно-вращательные [1]. В ударно-поворотных перфораторах поворот буровой штанги происходит при прямом или обратном ходе поршня-ударника. Это осуществляется с помощью геликоидальной винтовой пары и храпового механизма. В перфораторах ударно-вращательного действия поворот буровой штанги происходит независимо от движения поршня-ударника с помощью специального устройства.

Существующие перфораторы в основном имеют пневматический привод, и для их работы необходима громоздкая компрессорная станция. Недостатком такого комплекса является низкий коэффициент полезного действия, загрязнение окружающей среды масляным туманом, образующимся при выхлопе отработанного воздуха, и ограничение по энергии удара. По данным работы [1], крутящий момент в ударно-поворотных перфораторах небольшой и мощность, расходуемая на вращение инструмента, составляет менее 15 % от ударной мощности.

Недостатками обладают и пневматические ручные молотки для разрушения твердых покрытий. Поэтому в последние годы на смену им пришли молотки с гидравлическим приводом, питающиеся от небольшой гидростанции. Такой комплекс обладает как минимум в три раза большим коэффициентом полезного действия по сравнению с комплексом, состоящим из пневматического молотка и компрессорной станции. Гидравлические молотки имеют меньшую массу, более удобны в работе и не загрязняют окружающую среду.

В работе [2] отмечается, что "... гидравлические перфораторы для бурильных машин вращательно-ударного действия при равных размерах и массе с пневматическими позволяют подвести к буровому инструменту в 2–3 раза большую мощность и повысить производительность бурения в 2–3 раза". При этом из-за отсутствия выхлопа шум гидравлических перфораторов на 5–15 дБ меньше, чем пневматических. Кроме этого, как показано в работе [3], гидравлические перфораторы имеют более рациональную конструкцию поршня-ударника, создающую при одинаковой скорости удара меньшие напряжения в буровой штанге по сравнению с поршнями пневматических перфораторов. Это обеспечивает повышение стойкости буровых штанг.

Наконец, пневматические перфораторы малоэффективны при работе в условиях высокогорья. Согласно данным работы [4] их энергетические и технологические показатели существенно зависят от высоты расположения рабочей площадки. Например, при работе на высоте 4–4,5 тыс. м техническая производительность перфораторов может уменьшиться в 2,4–4,4 раза. При этом удельная энергоемкость выполняемого технологического процесса возрастает в 1,3–2,4 раза.

Учитывая это, можно утверждать, что одним из перспективных направлений совершенствования ручных перфораторов является их перевод на гидравлическую энергию. Это направление уже начало реализовываться в зарубежной практике. Например, фирмой Atlas Copco (Швеция) создан ручной гидравлический перфоратор ударно-вращательного действия, обладающий малой массой. Судя по литературным источникам, гидравлического перфоратора ударно-поворотного действия в настоящее время не существует. По крайней мере, он не рекламируется. В связи с этим задачей данного исследования стала разработка принципиальной схемы и конструкции ударно-поворотного перфоратора с гидравлическим приводом.

Поворот бурового инструмента после каждого удара, являющегося необходимым условием ударно-поворотного бурения, в пневматических перфораторах осуществляется за счет использования геликоидальной пары, представляющей собой винтовой механизм с большим углом подъема и шага винта. Эти механизмы не отличаются высокой надежностью и, кроме того, имеют определенные ограничения по величине передаваемого крутящего момента.

Применение в гидравлических перфораторах конструктивных решений, реализованных в пневматических перфораторах, не всегда представляется возможным. Это связано не только с низкой надежностью геликоидального механизма, но и с трудностями создания высокого крутящего момента с использованием геликоидальной пары.

Таким образом, создание гидравлического перфоратора, реализующего ударно-поворотное бурение, требует не только использования гидравлического привода, но и более надежного, чем геликоидальный, механизма поворота буровой штанги. Следует отметить, что в известных конструкциях гидравлических перфораторов для вращения бурового инструмента используется отдельный привод. В то же время известны схемы гидравлических перфораторов [5, 6], в которых вращение бурового инструмента связано с ударным механизмом.

В качестве одного из вариантов обеспечения вращательного движения буровой штанги предлагается использовать поворотный гидродвигатель (рис. 1). Он состоит из корпуса 1, поворотной втулки 2, статора 3, которые расположены в центральном отверстии корпуса 1. Статор неподвижен относительно корпуса, а поворотная втулка имеет возможность поворота вокруг своей оси на заданный угол. В поворотной втулке 2 размещен ротор 4 с роликами 6. Внутренняя поверхность ротора выполнена в виде шестигранного отверстия, в которое входит буровая штанга 5, вращающаяся вместе с ротором. По наружному диаметру ротора, параллельно оси его вращения выполнены профильные пазы, в которых установлены ролики.

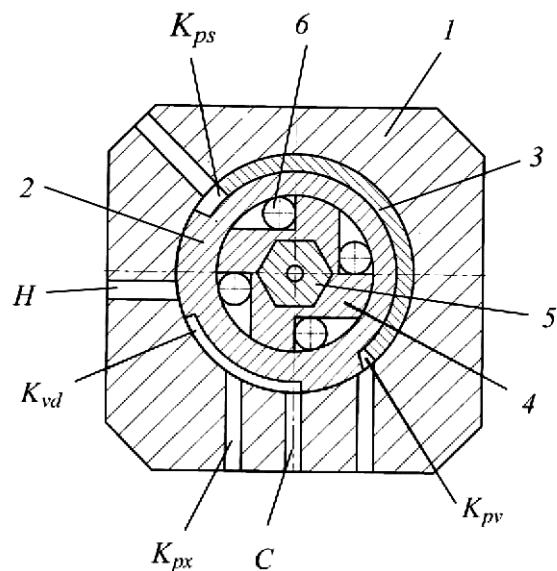


Рис. 1. Схема поворотного двигателя гидравлического перфоратора: 1 — корпус; 2 — поворотная втулка; 3 — статор; 4 — ротор; 5 — буровая штанга; 6 — ролик

В рассматриваемом варианте размещения пазов ротора при повороте втулки 2 по часовой стрелке ролики перекатываются в широкую часть паза и не передают крутящего момента от поворотной втулки к ротору 4. При повороте втулки 2 против часовой стрелки происходит заклинивание роликов между поверхностями втулки и ротора в узкой части профильного паза, и втулка вместе с ротором поворачивается против часовой стрелки.

Таким образом, поворотная втулка с ротором с роликами представляет собой обгонную муфту, передающую крутящий момент в одном направлении, в данном случае по часовой стрелке.

Принцип действия гидравлического перфоратора предполагает синхронную работу ударного механизма и поворотного гидродвигателя. Это осуществляется следующим образом. Между поверхностями поворотной втулки и статора образованы рабочие камеры K_{ps} и K_{pv} (рис. 1). Для совершения возвратно-поворотного движения поворотной втулки эти камеры попеременно соединяются с напорной или сливной магистралями. При подаче давления в одну из камер, другая камера соединяется со сливной магистралью. Переключение потоков жидкости в эти камеры обеспечивается по коммутационным каналам, соединяющим камеры с ударным механизмом. Этим достигается управление движением поворотной втулки гидравлического двигателя в зависимости от положения поршня-ударника ударного механизма.

Между корпусом гидродвигателя и поверхностью поворотной втулки расположена камера управления ударным механизмом K_{vd} . Эта камера попеременно соединяется с напорным H или сливным C каналами, между которыми расположен канал, соединяющий камеру управления K_{vd} с управляемой камерой K_{px} ударного механизма.

Необходимо отметить, что в пневматических перфораторах поворот бурового инструмента с помощью геликоидального механизма происходит, когда буровой инструмент в результате отскока от породы не испытывает сопротивления вращению. При этом роль механизма поворота сводится лишь к перестановке коронки на другое место.

Поворот бурового инструмента при использовании поворотного гидродвигателя осуществляется в момент изменения направления сил, действующих на поршень-ударник. В гидравлических ударных механизмах переключение действующих сил происходит в течение одного рабочего цикла дважды, в конце холостого и рабочего хода [7]. Соответственно, поворотная втулка гидравлического двигателя в течение рабочего цикла совершает также два поворота.

Передача крутящего момента от поворотной втулки к буровому инструменту происходит только в одном направлении, зависящем от направления пазов обгонной муфты. В показанном

на рис. 1 варианте исполнения обгонной муфты передача крутящего момента к буровому инструменту возможна при вращении поворотной втулки по часовой стрелке. Это обеспечивается при соединении камеры K_{pv} с напорной, а камеры K_{ps} — со сливной магистралью.

На рис. 1 показано положение поворотной втулки 2 после завершения поворота буровой штанги. При этом камера K_{ps} соединена с напорной, а камера K_{pv} — со сливной магистралью. Поэтому поворотная втулка под действием давления жидкости в камере K_{ps} удерживается в таком положении до момента соединения камеры со сливной магистралью, а камеры K_{pv} — с напорной магистралью.

При соединении камеры K_{pv} с напорной, а камеры K_{ps} со сливной магистралью поворотная втулка поворачивается по часовой стрелке. При этом ролики обгонной муфты заклиниваются между внутренней поверхностью поворотной втулки и поверхностью пазов ротора. Поэтому ее дальнейший поворот происходит совместно с ротором и буровой штангой. Таким образом происходит передача крутящего момента от поворотной втулки к ротору. Ротор и соединенная с ним буровая штанга поворачиваются на заданный угол. При этом поворот буровой штанги может происходить, когда режущая кромка находится в контакте с породой. В этом случае поворот буровой штанги будет сопровождаться срезом слоя породы.

Для сравнения рабочих процессов в пневматическом и предлагаемом гидравлическом перфораторе на рис. 2 приведены графики изменения скорости движения U и перемещения Y поршня-ударника, угловой скорости $\omega_{шт}$ и угла поворота $\varphi_{шт}$ буровой штанги для гидравлического (рис. 2а) и пневматического (рис. 2б) перфораторов. В нижней части рис. 2 представлены графики изменения угловой скорости $\omega_{п.в}$ и угла поворота $\varphi_{п.в}$ поворотной втулки гидродвигателя и геликоидальной гайки пневматического перфоратора. Представленные на рисунке диаграммы рабочих процессов гидравлического перфоратора соответствуют варианту, при котором поворот бурового инструмента происходит после нанесения удара, т. е. в конце рабочего хода.

На рис. 2а видно, что в начале движения поршня-ударника от плоскости соударения ($Y = 0$) поворотная втулка 2 (рис. 1) остается неподвижной. В момент времени $t_{ув}$ (рис. 2а) подается сигнал на ее поворот, и она за время $\Delta t_{п.в}$ поворачивается на угол $\varphi_{п.в}$. При этом поршень-ударник находится на расстоянии Y_c от плоскости соударения. В этот момент времени t_1 подается сигнал на переключение направления силы, действующей на поршень. Под действием этой силы скорость движения поршня-ударника снижается до нуля, затем он перемещается в сторону буровой штанги и наносит удар по ее торцу, подается сигнал на ее поворот, и она поворачивается на угол $\varphi_{шт}$. Одновременно подается сигнал на поворот втулки в другую сторону, и она совместно с буровой штангой за время $\Delta t_{шт}$ поворачивается на угол $\varphi_{шт}$. После завершения поворота штанги подается сигнал на переключение силы, действующей на поршень-ударник, под действием которой он перемещается в сторону от плоскости соударения. Буровая штанга остается неподвижной и в новом положении удерживается обгонной муфтой. Далее цикл повторяется.

В пневматическом перфораторе (рис. 2б) холостой ход поршня-ударника сопровождается поворотом буровой штанги до полной остановки поршня-ударника при достижении им координаты Y_0 . При рабочем ходе поршня-ударника геликоидальная гайка с буровой штангой удерживаются храповым механизмом и остаются в неподвижном положении. Винт геликоидальной пары, в качестве которой используется штоковая часть поршня-ударника, поворачивается в обратную сторону на угол $\varphi_{г.в}$.

Принципиальное отличие работы гидравлического перфоратора с поворотным механизмом заключается в том, что после нанесения удара по торцу буровой штанги поршень-ударник в течение времени $t_{шт}$ остается неподвижным, так как на него все еще действует сила рабочего хода, которая продолжает прижимать его к буровой штанге. Вследствие этого при повороте буровой штанги может происходить срез слоя породы.

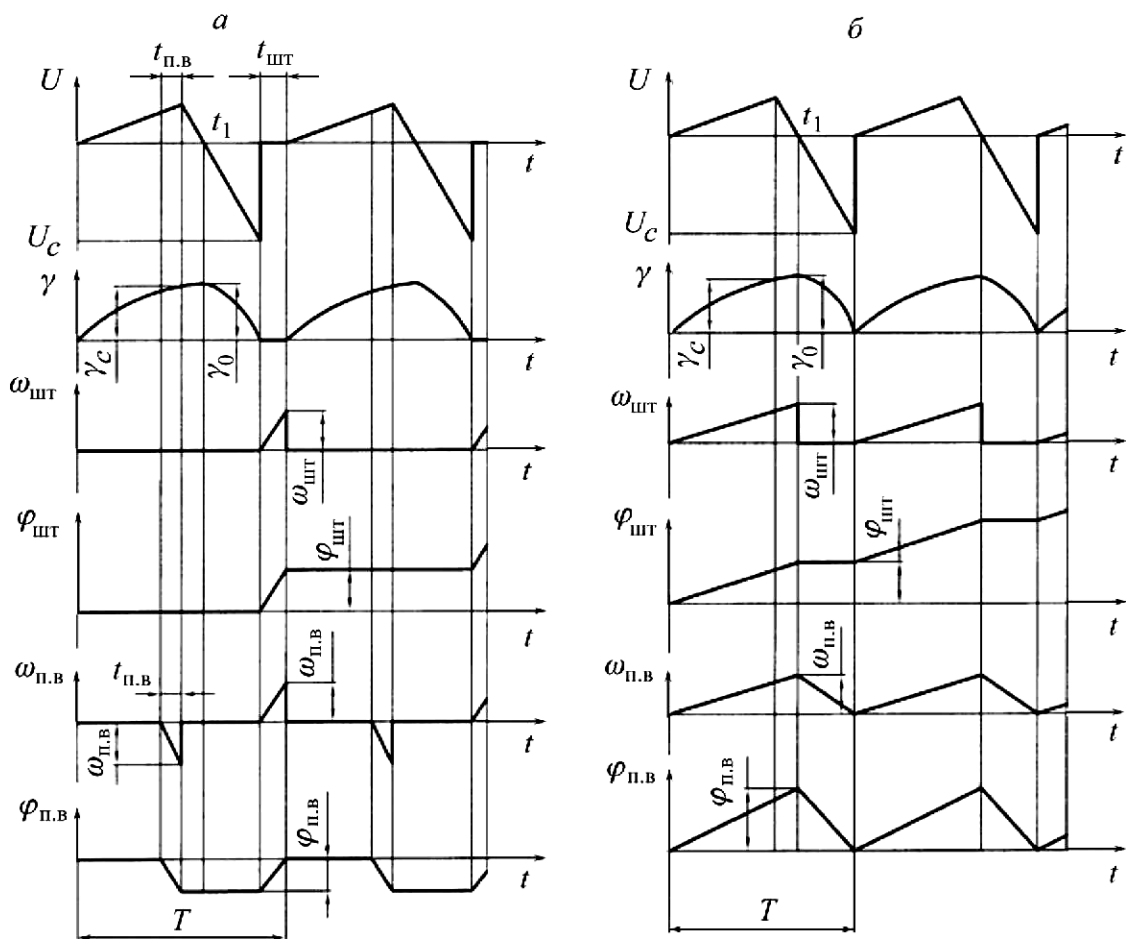


Рис. 2. Графики рабочего процесса гидравлического (а) и пневматического (б) перфораторов: U_c — скорость соударения поршня-ударника; Y_0 — ход поршня-ударника; Y_c — координата переключения сил, действующих на поршень-ударник; T — время одного цикла; t_1 — время переключения сил, действующих на поршень-ударник; $t_{п.в}$ — время поворота поворотной втулки; $\Delta t_{п.в}$, $\Delta t_{шт}$ — соответственно длительность поворота поворотной втулки и буровой штанги

На основе рассматриваемой схемы разработана конструкция гидравлического перфоратора и изготовлен экспериментальный образец, общий вид которого представлен на рис. 3. Его масса составляла 42 кг при расчетной ударной мощности 2.1 кВт и крутящем моменте на инструменте, равном 108 Н·м, при давлении в напорной магистрали 10 МПа. Мощность поворотного гидродвигателя, рассчитанная по давлению жидкости и ее расходу через двигатель, равна 1.49 кВт, что составляет 70 % от ударной мощности перфоратора. Для сравнения, пневматический перфоратор ПТ 63 при аналогичной массе развивает крутящий момент 32.3 Н·м и рассчитан на ударную мощность 1.8 кВт.

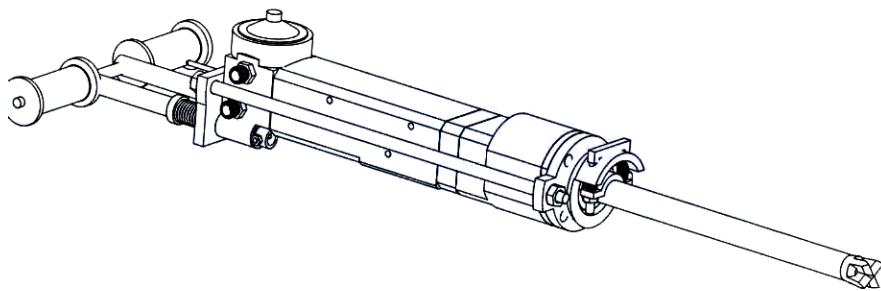


Рис. 3. Общий вид экспериментального образца гидравлического перфоратора

Стендовые испытания экспериментального образца гидравлического перфоратора при бурении гранита четырехлезвийной коронкой диаметром 43 мм показали, что предлагаемый вариант перфоратора работоспособен и может рассматриваться в качестве основы для проведения дальнейших работ по проектированию промышленных образцов таких машин.

Таким образом, результаты проведенных работ подтвердили перспективность предлагаемой конструкции гидравлического перфоратора ударно-поворотного действия.

Использование для вращения буровой штанги поворотного гидродвигателя позволяет при одинаковой массе гидравлического и пневматического перфораторов увеличить крутящий момент на инструменте в три раза с одновременным увеличением ударной мощности на 16–17%. При доработке экспериментального образца его показатели могут быть улучшены.

В дальнейшем целесообразно опробовать эту конструкцию и на более мощных перфораторах, устанавливаемых на буровые машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Vasiliev V. M. Perforators: Reference book, Moscow, Nedra, 1989, 216 pp. (in Russian) |Васильев В. М. Перфораторы: Справочник. — М.: Недра, 1989. — 216 с.]
2. Ivanov K. I., Latyshev V. A., Andreev V. D. Drilling techniques in the development of minerals, Moscow, Nedra, 1987, 272 pp. (in Russian) |Иванов К. И., Латышев В. А., Андреев В. Д. Техника бурения при разработке полезных ископаемых. — М.: Недра, 1987. — 272 с.]
3. Alimov O. D., Manzhosov V. K., Eremyants V. E. Hit. Propagation of strain waves in shock systems, Moscow, Nauka, 1985, 356 pp. (in Russian) |Алимов О. Д., Манжосов В. К., Еремянц В. Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. — М.: Наука, 1985. — 356 с.]
4. Eremyants V. E. Change in energy and technological parameters of pneumatic shock machines in high altitude conditions, Physico-technical problems of mining, 2017, no. 4, pp. 89–97. (in Russian) |Еремянц В. Э. Изменение энергетических и технологических показателей пневматических ударных машин в условиях высокогорья // ФТПРПИ. — 2017. — № 4. — С. 89–97.]
5. Pat. 1726 Kyrgyz Republic: C1 E21B 6/06. Hydraulic puncher, M. Uraimov; applicant and patent owner Uraimov M.; declared on February 28, 2014; published on 04/04/2015, Bulletin no. 4, 6 pp. (in Russian) |Пат. 1726 Кыргызская Республика: C1 E21B 6/06. Гидравлический перфоратор / М. Ураимов; заявитель и патентообладатель М. Ураимов; заявл. 28.02.2014 // Оpubл. в БИ. — 2015. — № 4. — 6 с.]
6. Pat. 1958 Kyrgyz Republic: C1 E21B 6/06. Hydraulic puncher / M. Uraimov; applicant and patent owner M. Uraimov; it is declared on 04/06/2016; published on May 31, 2017, Bulletin no. 5, 7 pp. (in Russian) |Пат. 1958 Кыргызская Республика: C1 E21B 6/06. Гидравлический перфоратор / М. Ураимов; заявитель и патентообладатель М. Ураимов; заявл. 06.04.2016 // Оpubл. в БИ — 2016. — № 5. — 7 с.]
7. Uraimov M., Sultanaliyev B. S. Hydraulic hammers. Fundamentals of creation, generalization of the experience of production and operation of hydraulic hammers “Impulse”. Bishkek: Ilim, 2003, 240 pp. (in Russian) |Ураимов М., Султаналиев Б. С. Гидравлические молоты. Основы создания, обобщение опыта производства и эксплуатации гидравлических молотов “Импульс”. — Бишкек: Илим, 2003. — 240 с.]